

# 最近の運行管理システム

## Recent Railway Traffic Control Systems

コンピュータを利用した鉄道運行管理システムが実用化されて以来十数年を経ている。システム形態は当初の中央集中形から自律分散形へと大きな変化があったが、現在ではシステム形態の多様化の時代を迎えている。

本論文では、最近の特徴的な3種類のシステムについて述べる。一つは大規模運行管理システムへ自律分散を適用した「中長距離路線向け自律分散形運行管理システム」である。その二は運行・電力・設備などの管理を一つの自律分散形システムで実現した「多機能自律分散形システム」である。また、その三はJRグループのCTC化線区に広く適用可能な「JRグループ在来線向け集中形運行管理システム」である。

柴田敏郎\* *Toshirō Shibata*  
 大峽明\*\* *Akira Ōhazama*  
 今井隆\*\*\* *Takashi Imai*  
 岡崎澄之\* *Sumiyuki Okazaki*  
 佐々木利一郎\*\*\*\* *Toshiichirō Sasaki*

### 1 緒言

鉄道システムの中核をなす運行管理システムは、昭和46年の札幌市交通局南北線ph-1及び昭和47年の新幹線岡山対応COMTRAC(Computer Aided Traffic Control System)で導入が始まった。その後、公営地下鉄や中長距離路線を持つ民営鉄道へと広がりを見せ、現在までにシステム納入は二十有余を数えている。

この間の技術的変遷は、CTC(Centralized Traffic Control)を伝送路とした計算機一重系のシステムから、その後のマイクロコンピュータ技術の進歩に伴う分散方式、更には光グループ伝送路を用いた自律分散処理<sup>1)</sup>へと変化してきている。現在では、この自律分散形も複雑な運行形態を持つ路線への適用、電力管理・設備管理とのシステム一体化<sup>2)</sup>などの新しい傾向を見せている。

一方、従来からCTC設備が基盤としてある路線では、集中形運行管理システムのほうが経済面、運用面、システム構築上有利であり、よりいっそうの標準化・はん(汎)用性を追求したシステムの構築も行われている。

### 2 運行管理システムの動向

#### 2.1 運行管理システム制御技術の変遷

運行管理システム制御技術の変遷を当初から見てみると、**図1**に示すように大きく4段階に分けられる。

##### (1) 第1段階……基本技術の確立

基本機能である列車追跡・進路制御・実績記録作成などの技術を確立した。計算機は一重系であった。

##### (2) 第2段階……信頼性の向上

計算機を従来の一重系から二重系とし、ハードウェアの故障に対する信頼性を大幅に向上させた。また、二重系の技術だけでなく、車上とのデータ伝送技術、複雑な線路配線での

優先判断制御、更に一つの計算機に運行管理機能と電力管理機能を統合した多機能処理技術も確立した。

##### (3) 第3段階……分散処理

各駅にマイクロコンピュータを設置することによって、各駅でローカル処理が可能な案内放送・行先案内を分散処理する技術を確立し、合わせてシステム全体の処理性・応答性を向上させた。

##### (4) 第4段階……自律分散処理

列車追跡・進路制御などの基本機能は第3段階までは中央の計算機で処理していた。すべての制御機能を各駅のマイクロコンピュータで処理し、中央の計算機はマンマシンコミュニケーション・実績記録作成などの管理機能を分担し、その間を自律分散ループ伝送によって結ぶ「制御の分散、管理の集中」を実現する技術をこの段階で確立した。

### 2.2 最近の運行管理システム

現在の技術の流れは自律分散形と中央集中形をその路線の性格に合わせて適用する共存の時代となっている。自律分散形は当初、公営地下鉄のように路線長も比較的短く、また運行形態もシンプルな路線に多く導入されてきた。現在、導入対象となっている路線は中長距離となっており、列車本数・列車種別・ダイヤグラムの種別も多い複雑な運行形態を持つものとなってきている。逆に路線長も短く、運行形態のシンプルな路線では、電力系統・駅設備・車庫といった従来運行管理システムの対象でないものも一つのシステムで管理することを要求されてきている。

一方、JRグループの在来各線に見られるように、CTCが既に列車運行をつかさどる線区では、既存設備の有効活用という観点から中央集中形によるシステムの構築も行われている。中央集中形は技術的に十分成熟していることもあり、多くの

\* 日立製作所システム事業部 \*\* 日立製作所水戸工場 \*\*\* 日立製作所機電事業本部 \*\*\*\* 日立製作所大みか工場

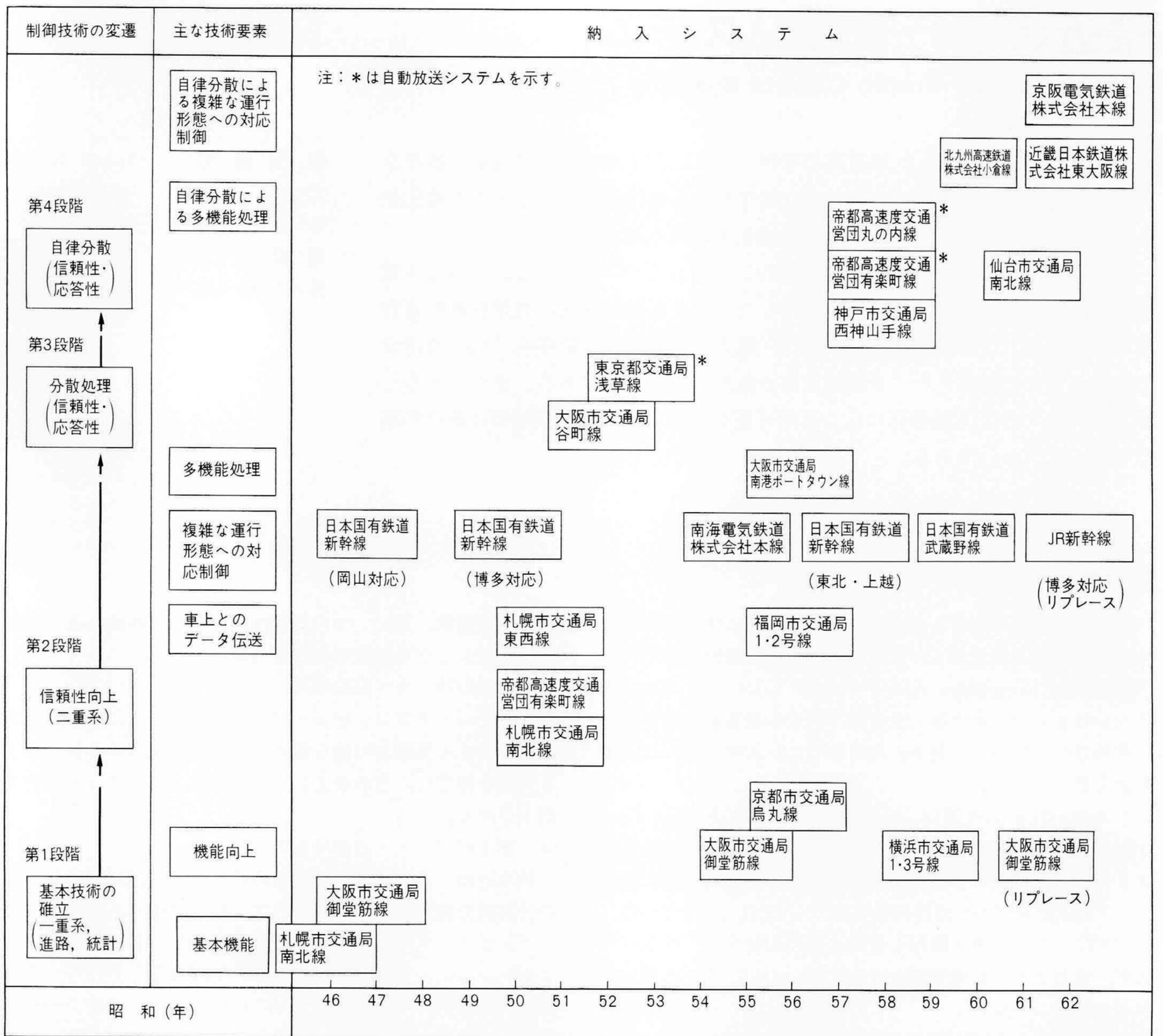


図1 日立運行管理システム制御技術の変遷 中央集中形から自律分散形まで、現在はシステム形態の多様化の時代となっている。

線区で適用が可能な、はん用システム化が現状の課題となっている。

### 3 中長距離路線向け自律分散形運行管理システム

#### 3.1 中長距離路線の運行管理システム導入の背景

中長距離路線では、列車運行管理業務の近代化とサービスの向上を図るべく、従来各種自動化システムの導入が積極的に進められてきた。しかし、これらは駅ごとの業務の自動化を主体としたもので、比較的限られた範囲内での単機能自動化システムであった。これらのシステムは、計画ダイヤグラムどおりの列車運行をしているときは、その機能を十分に発揮できるが、列車運行に乱れが発生するとそれに追従できずシステム運転の継続が不可能になってしまう場合が往々にして発生する。駅範囲内の手動扱い業務の一部を自動化するにとどまっている駅単自動制御の限界と言える。

駅範囲内の運行制御の自動化から駅相互の情報の授受による制御の連続性を確保し、更に全線にわたる列車運行へと発展していくシステム形態を実現する自律分散形システムは、このような問題に対する一つの解決策と言える。

#### 3.2 システムの特徴

システムの大規模化に対応するため、制御の主体を各駅に分散配置した駅制御装置に持たせ、それらを集中管理する中央装置とを光ループ伝送路で結合する高性能、高信頼性を追求した中長距離路線向け自律分散形運行管理システムを実現した。以下に、自律分散形運行管理システムの特徴について述べる。

(1) 光ループによって、高速・長距離の自律分散ループ伝送システムADL (Autonomous Decentralized Loop Network) を構成している。伝送速度は1 Mbpsであり、ノード間の伝送距離は最長20 kmまで可能となっている。

(2) 駅制御装置は、処理装置に16ビットマイクロコンピュータ(HD68000)を採用し、大容量・高速処理を実現している。また、処理装置周りの標準部とインタフェース部の分離構成、メモリの大容量化、外部記憶装置のない機器構成など、複雑な路線形態、特殊な設備環境に対しても対応可能なシステム構成となっている。

(3) 高機能OS(Operating System)の採用、及び充実したソフトウェアサポートによって処理性、応答性の向上を図るとともに、高品質のソフトウェアの開発を可能としている。

(4) ハード、ソフトの両面で拡張性の容易なシステム構成となっており、中長距離路線での段階的なシステムの構築を可能としている。

### 3.3 システムの適用例

中長距離向け自律分散形運行管理システムの適用例として、京阪電気鉄道株式会社納めの運行管理システムを紹介する。

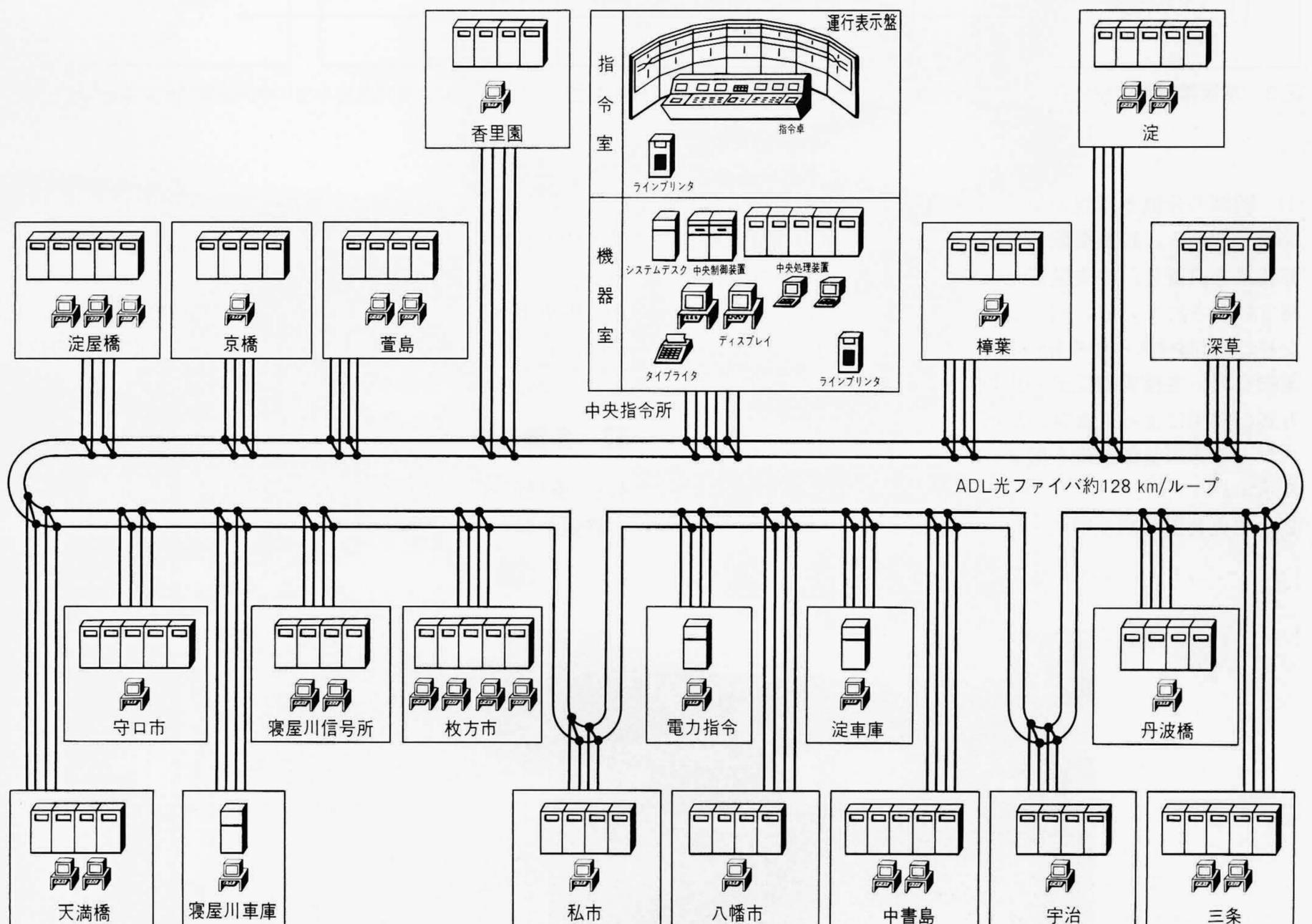
このシステムは、京都と大阪を結ぶ京阪線(京阪本線、交野線及び宇治線の3線)を対象としたもので、その路線長は64.0 kmに及ぶ路線である。システム建設は3段階に分けて建設され、昭和62年12月に完成した。

システム化の対象となった路線諸元を表1に示す。

システムの主な特徴は以下に述べるとおりである。

表1 京阪電気鉄道株式会社納め運行管理システム路線諸元  
ダイヤグラム種別・列車種別・列車本数などが多く、複雑な運行状況下でのシステムとなっている。

No.	項目	諸元
1	対象路線	64.0 km(京阪本線 49.3 km) (交野線 6.9 km) (宇治線 7.8 km)
2	制御駅(信号所を含む)	17駅
3	ダイヤグラム種別	15種
4	列車種別	6
5	列車編成	3~8両
6	1日の列車本数	1,460本
7	ラッシュアワー最大列車本数 (1時間片道)	44本 (複々線区間 急行線 32本 緩行線 12本)
8	ラッシュアワー運転間隔	複々線区間 急行線 1分52秒 緩行線 5分
9	最大同時在線列車本数	81本



注：略語説明 ADL(Autonomous Decentralized Loop Network)

図2 京阪電気鉄道株式会社納め運行管理システムの概要 使いやすさの面から、各制御駅にもマンマシン機器を配している。

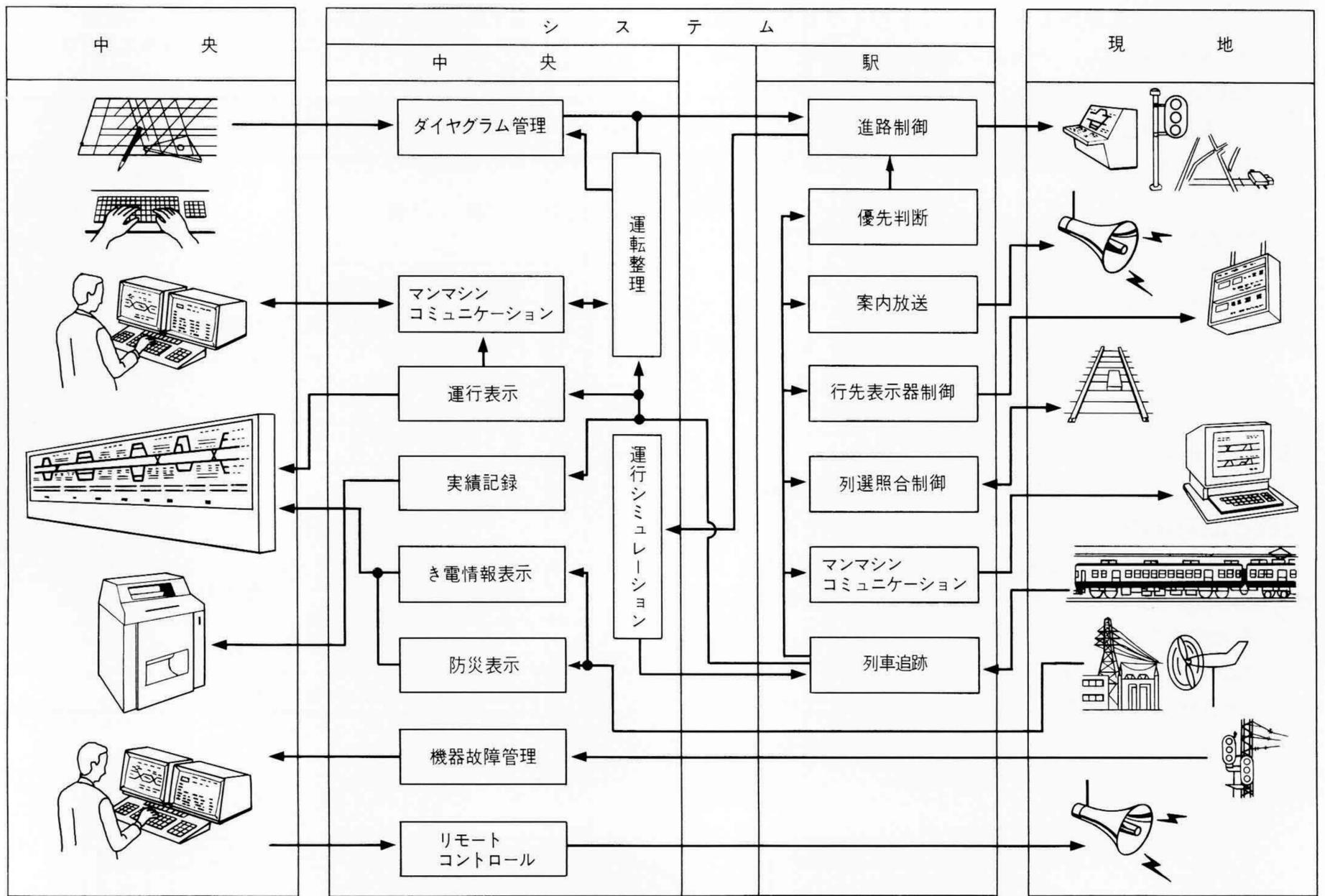


図3 京阪電気鉄道株式会社納め運行管理システム機能概要 制御機能を主に駅制御装置に、管理機能を主に中央装置に配している。

(1) 制御の分散と管理の集中を追求した自律分散処理方式を採用している。17制御駅と2箇所の車庫及び電力指令に駅制御装置を設置し、中央装置と二重の光ファイバースタイル伝送路で結合されている。駅では進路制御、案内放送、行先表示などの制御を行い、中央指令室では全線の列車運行を監視し、運転整理、各種実績記録の出力などを行っている。分散処理方式の採用によって異常の局所化を図っている。

システムの全体構成を図2に、中央と駅の機能分担を図3に示す。

(2) 中央装置、駅制御装置は二重系構成とし信頼性の向上を

図っている。また、伝送路は二重ループ構成のADLを採用し、異常時の自動う回路構成が容易な信頼性の高いものとなっている。

(3) 中央指令室及び駅に豊富なマンマシン機器を配置し、広範囲にわたるシステムに関連のあるすべての人に情報の提供を行っている。中央指令室の全景を図4に示す。

#### 4 多機能自律分散形運行管理システム

##### 4.1 多機能自律分散形運行管理システム導入の背景

鉄道を動かしているのは、列車の運行制御だけでなく、鉄



図4 京阪電気鉄道株式会社運転指令室 モザイク式の運行表示盤によって、将来の配線変更などに容易に対応可能としている。

道に電力を供給する受変電設備や、駅舎などに設置される空調やエスカレーターなどの諸設備、更に車両基地なども付随しており、数多くの複雑多岐な機能が寄せ集まって、一つの大きな鉄道システムとして成り立っている。したがって、そこには運行管理システムのほかに電力管理システムや設備管理システム、あるいは基地管理システムといったものの導入が期待される。システム構築をするうえで、これらのシステムを個々に導入するのではなく、一つの大きな鉄道トータルシステムとみなして効率の良いコストパフォーマンスの高い鉄道トータルシステムを目指す場合も多い。

近年では、マイクロコンピュータの性能の向上、システムネットワーク技術の向上によって、マイクロコンピュータによる制御装置を適材適所に分散配置し、各制御装置間をネットワークで結んだ多機能自律分散形システムへと発展している。

#### 4.2 システムの特徴

多機能自律分散形システムの構成の基本に、高速で信頼性の高いADL伝送路を据え、この伝送路のもとに各々がソフト的、ハード的に自律した制御装置やサブシステムを適宜配置している。

このADL伝送路には、沿線のあらゆる情報がブロードキャスト通信方式でリアルタイムに流れていて、どの制御装置からも必要な情報を必要なときに選択受信することができるよ

うになっている。

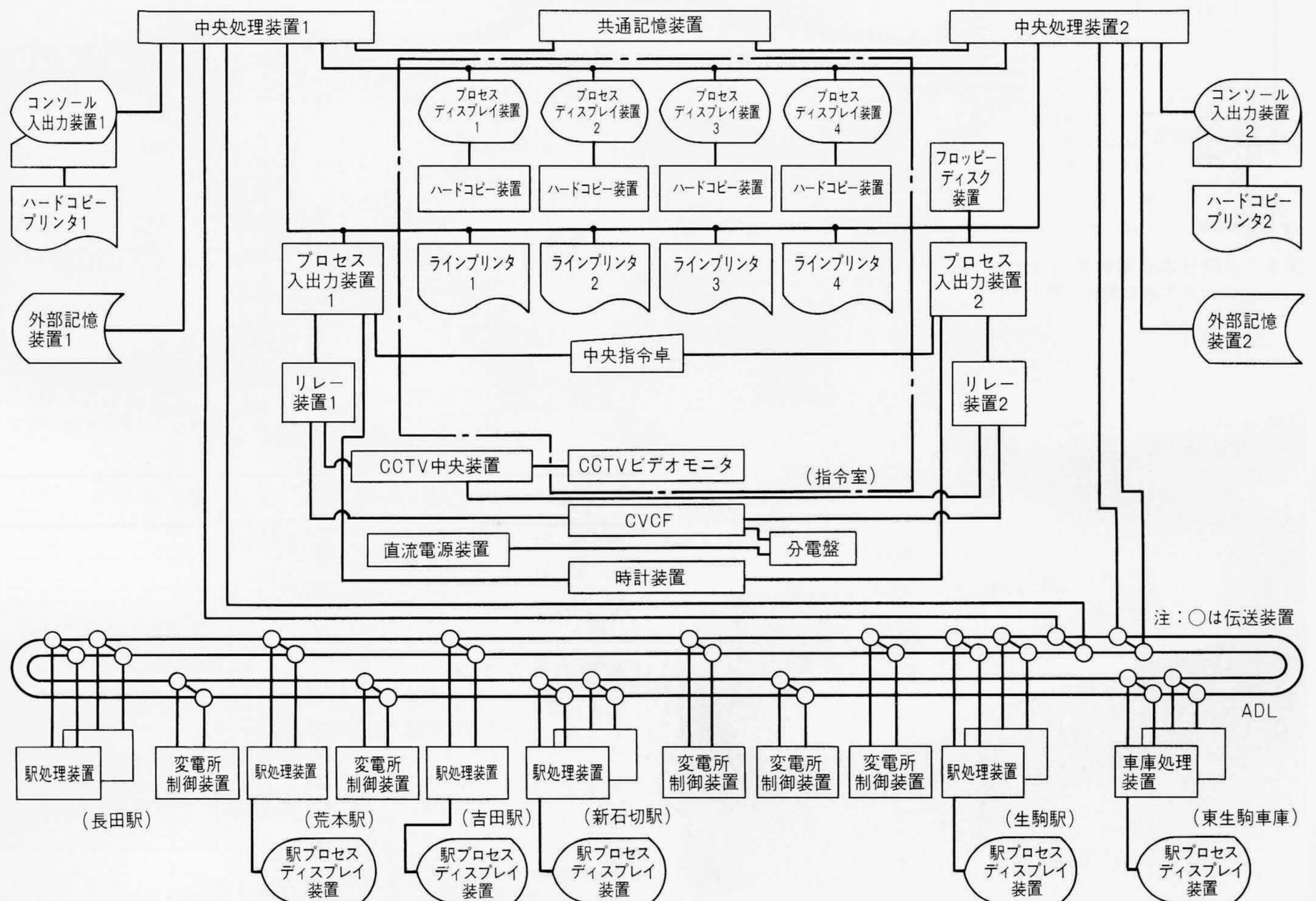
以下に、このシステムの特徴について述べる。

- (1) 各システムは相互の情報をたやすく入手できるとともに、多くの関連情報を集めて扱ひ者に提供できると同時に、よりの確で総合的な判断、制御が可能となる。例えば、電力管理システムの情報である、き電情報や非常発報情報などを用いて、きめ細かい運行制御が可能となる。また、運行管理システムの情報である区間列車数情報などは、電力管理の力率改善制御やデマンド制御に応用できる。
- (2) 伝送路や制御装置を共用し、フォールバックなどの面からコストパフォーマンスの高いシステムが提供できる。
- (3) 情報の集約や抽出が自由にでき、指令業務の集約、統括が可能で省力化、効率化が図れる。
- (4) システムの段階的構築や拡充拡大が容易に行える。すなわち、サブシステム単位の構築や増設、サブシステム間の統合などの手法がとれ、大規模システムも容易に構築していける。

#### 4.3 システムの適用例

多機能自律分散形システムの適用例として、昭和61年10月に開業した近畿日本鉄道株式会社東大阪線納めの鉄道トータルシステムを紹介する。

システム構成を図5に示す。本システムでは、中央に運行



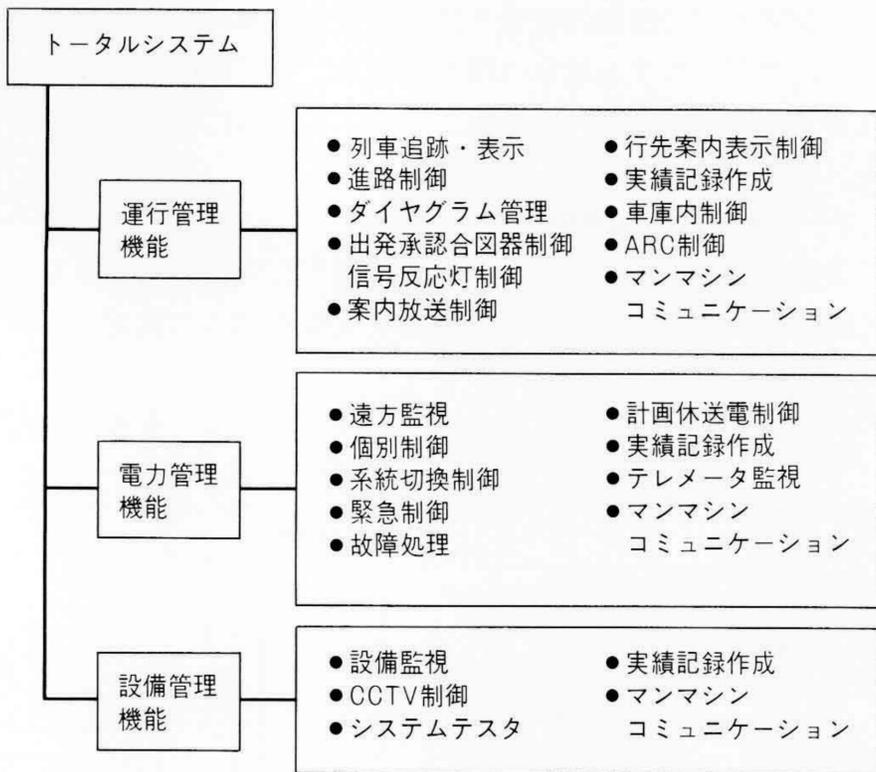
注：○は伝送装置

注：略語説明 CCTV(Closed Circuit Television)

図5 近畿日本鉄道株式会社東大阪線納め鉄道トータルシステムの構成 一つのADL伝送路上に駅・変電所・車庫の各制御装置が接続されている。

表2 近畿日本鉄道株式会社東大阪線トータルシステム路線諸元  
 大阪市地下鉄中央線との相互乗り入れによって、生駒～大阪港間の直通運転を実現している。

項目	諸元
路線長	10.2 km
駅数	5 駅 + 1 車庫
連動駅	3 駅
列車本数	最大 800本
列車種別	3 種
ダイヤグラム種別	9 種



注：略語説明 ARC(Automatic Route Control)

図6 近畿日本鉄道株式会社納めトータルシステム機能概要  
 一つのシステムで運行・電力・設備の各機能を実現している。

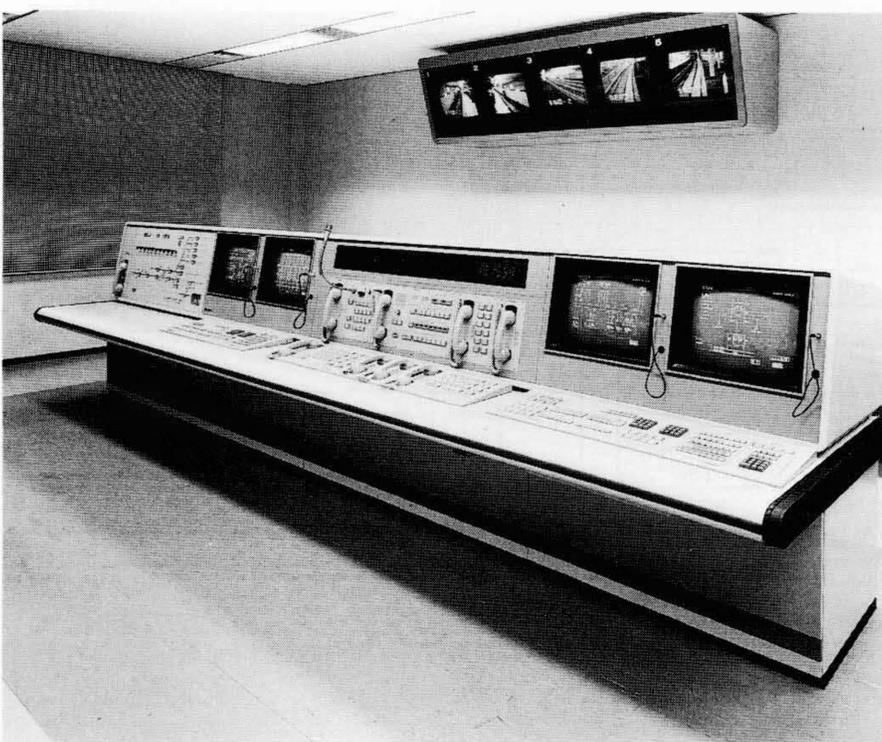


図7 近畿日本鉄道株式会社東大阪線中央指令室 運行表示盤，電力系統盤に代わり，CRT中心のマンマシンを構成している。

管理指令システムと電力・設備管理指令システムを併設し、各駅、各変電所に駅処理装置、変電所制御装置を、車両基地には車庫処理装置をそれぞれ分散設置し、これらの間をADL伝送路で結んでいる。

制御対象路線の路線長は10.2 kmと比較的短い、大阪市地下鉄中央線との相互乗り入れ路線で、両方を合わせると1日の列車本数は約400本近くに達している。

路線諸元を表2に、また本システムの主な機能を図6に示す。

本システムのその他の特長としては、次のような点が挙げられる。

- (1) サブシステム間でのバックアップを可能としている。電力管理用操作卓で列車追跡表示など運行管理の重要な機能を、運行管理用操作卓で電力管理の重要な機能を果たせるようなバックアップ方式を実現している。
- (2) 全駅にCRT付き操作卓を設置し、駅で全体の運行状況などの情報をモニタできるようにした。
- (3) 指令室で大きなスペースを占める運行表示盤、電力系統表示盤を廃止してCRT表示とし、指令室のコンパクト化を実現している。指令室内を図7に示す。

## 5 JRグループ在来線向け集中形運行管理システム

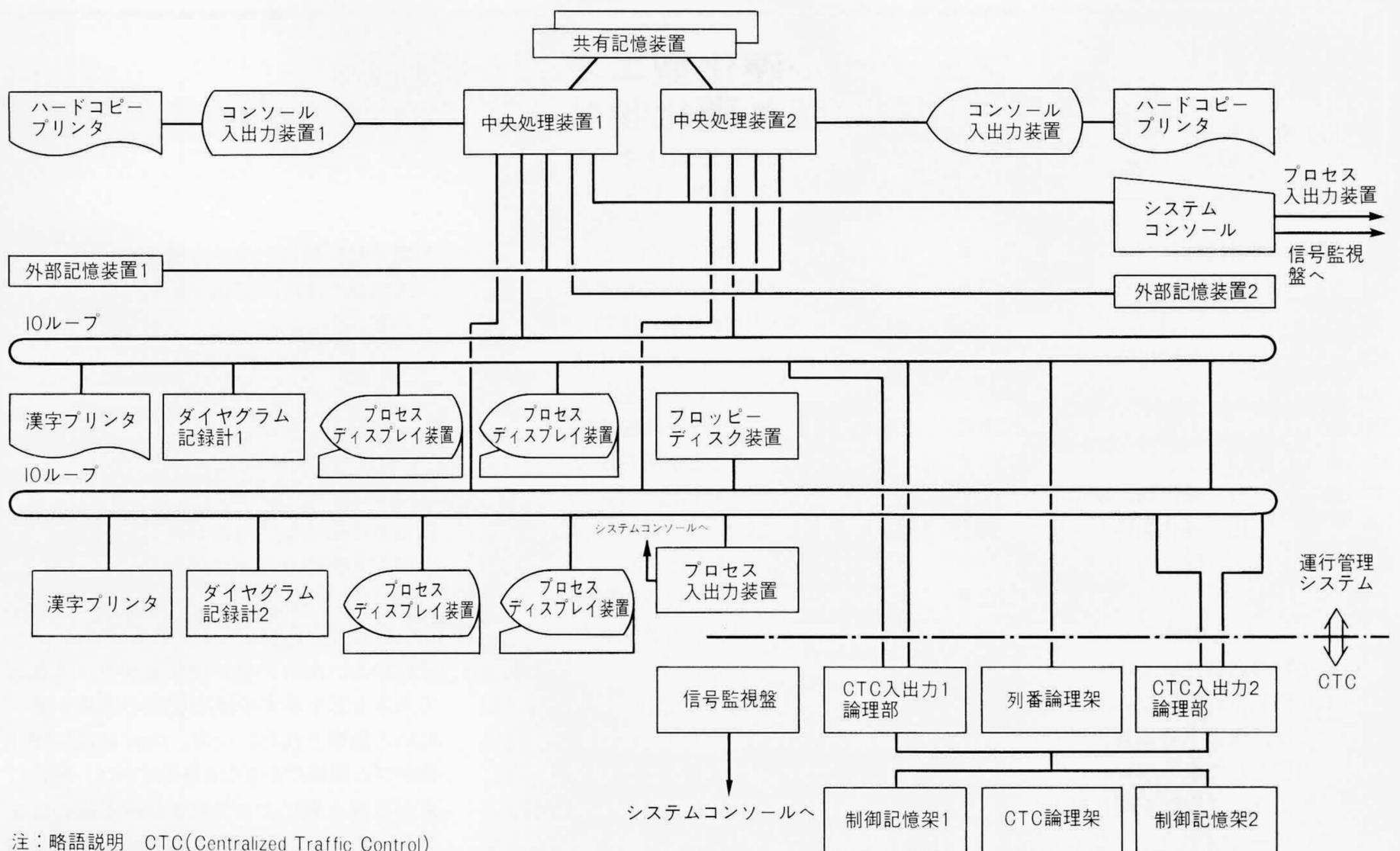
### 5.1 JRグループ在来線向け集中形運行管理システム開発の背景

JRグループの在来線は歴史の古い線区が多く、信号通信技術の進歩や運転取扱い業務の進展に伴い、徐々に信号・通信設備の新・増設が行われてきている。また、旅客及び貨物のニーズも多様化し、幾度にもわたる駅構内の配線変更、複線・複々線化、電化などが実施され、線区ごとの設備条件や列車指令業務は多種多様である。一方、旅客へのサービス向上のための列車ダイヤの高密度化、多種類の運転パターン・列車種別の設定に対してはCTCによる集中監視制御だけでは対応

表3 JRグループ在来線向け集中形運行管理システム前提条件  
 他線区に容易に適用できるように、諸定数については余裕を持たせている。

項目	前提条件
制御対象範囲	複線区間の被制御駅
制御対象駅数	最大 64駅(14駅)
基本計画列車本数	最大 1,000本 平日・土曜日・休日の3面を持つ(約500本)。
変更計画列車本数	最大 3,200本 変更項目は一括して入力可能
変更計画列車本数(運休)	最大 500本
変更計画列車本数(種別)	最大 500本
実施計画列車本数	最大 1,200本 前日・当日・翌日の3面を持つ。
同時在線列車本数	最大 120本
列車番号表示窓数	最大 512窓 線区外列番表示窓を含む。
ダイヤ時刻単位	5秒
制御対象信号機数	最大 800基

注：( )内は武蔵野線を示す。



注：略語説明 CTC(Centralized Traffic Control)

図8 東日本旅客鉄道株式会社納め武蔵野線運行管理システム構成 主要部分の機器を二重化し、高信頼度化を図った。

しきれなくなっている。そこで、JRグループ全路線の約半分を占めるCTC化線区、つまり幹線系線区に対応するはん用運転管理システムのニーズが高まってきた。

### 5.2 システムの特徴

本システムは、一つの線区だけでなくCTC化他線区への適用が容易にできるよう、JRグループ標準の「自動進路制御装置(複線CTC)」の仕様に準拠し、路線特有の機能も吸収できるようハードウェア、ソフトウェアに極力はん用性を持たせるよう開発を行った。主な特徴を以下に述べる。

- (1) 標準的な機能と線区に特有な機能、特にCTC関連装置とのインタフェース部分などを、それぞれ独立したソフトウェアモジュールとし、将来の設備変更に対応できるようにした。
- (2) 各種テーブルデータ構造についても、線区独特のデータを容易に入力できるよう配慮した。
- (3) 列車の終日運転に伴う切れ目のない実施ダイヤグラム及び複雑に入り組んで通達される変更計画を容易に管理し、実施計画を作成できるダイヤ管理方式を実現した。
- (4) 他線区から持ち込まれるダイヤグラムの乱れを、自線区内正常列車に波及させないような順序判断機能を実現した。
- (5) 現地試験及び保守作業を短縮するための現地試験支援ユーティリティソフトウェアを充実した。
- (6) はん用運行管理システムとして、多くの線区を対象とできるように各種定数は最大限余裕を持たせた。

### 5.3 システムの適用例

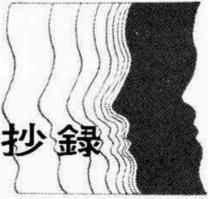
JRグループ在来線向け集中形運行管理システムの適用例として、現在の東日本旅客鉄道株式会社納めの運行管理システムを紹介する。このシステムは、西船橋から新鶴見までを結ぶ武蔵野線を対象としたもので、その路線長は約113.2 kmに及ぶ路線である。運行管理システムは、昭和47年以来運用されてきたが、設備の更新を迎えるに当たって、昭和61年1月から設計・製作が開始され、昭和62年3月に完成した。新システムの前条件を表3に、システム構成を図8に示す。

## 6 結 言

以上、最近の運行管理システムについて、3種類のシステム構成とその導入事例を述べた。今後も上記3例のほかに、今までに手がけた数多くのシステムの経験を基に、導入線区に適した柔軟なシステムの構築を目指していく考えである。今後の課題としては、知識工学を応用したより高度な判断機能を持つシステム、あるいは運転計画や後方業務を含めたより広範囲な機能をカバーする総合運転管理システムの構築が挙げられる。

### 参考文献

- 1) 井原, 外: 自律分散制御の交通システムへの応用, 日立評論, **63**, 11, 779~784(昭56-11)
- 2) 大峽, 外: 鉄道トータルシステムの展開, 日立評論, **68**, 3, 183~188(昭61-3)



## フェノール硬化型エポキシ樹脂の 橋かけ密度と硬化物物性

日立製作所 尾形正次・金城徳幸・他1名  
高分子論文集 44—3, 193~199 (昭62-3)

エポキシ樹脂は硬化剤として無水酸、多官能イソシアネート、多価フェノールなどを用いて硬化すると、電気特性、機械特性、耐熱性などが優れた硬化物が得られ、各種工業分野に利用されている。このエポキシ樹脂の硬化物物性は、樹脂組成や硬化条件によって著しく異なる。そのため、これまでエポキシ樹脂、硬化剤、硬化促進剤の化学構造、配合比、硬化条件と硬化機構、硬化物物性に関する種々の研究が行われている。しかし、硬化促進剤については硬化反応の促進性、反応機構に関する研究が多く、最終硬化物の諸物性に及ぼす影響についてはあまり研究されていない。

本論文は、現在半導体封止用成形材料のベース樹脂として広く用いられているフェノールノボラック樹脂を硬化剤として用いた0-クレゾールノボラック型エポキシ樹脂硬化物の諸物性に及ぼす硬化促進剤の影響について検討したものである。特に、硬化物の最も重要な特徴である橋かけ密度に着

目し、諸物性との関係を明らかにするとともに硬化反応機構についても考察した。

その結果、硬化促進剤の種類によって反応機構が若干異なり、最終硬化物の橋かけ密度や諸物性に著しい差が生じたが、ゴム状態式により求めた橋かけ密度 $\rho_{(E)}$ との関係を検討し、次のことが明らかになった。

硬化物のガラス転移温度 $T_g$ と $\rho_{(E)}$ の間には柴山が提案している式 $T_g = K_1 \log K_2 \rho$ (ここで、 $\rho$ は橋かけ密度、 $K_1$ は分子鎖の運動性に及ぼす橋かけ点の影響の度合、 $K_2$ は主鎖の剛直性と相互作用の強さに依存する定数)の関係が成り立ち、本論文のフェノール硬化型エポキシ樹脂は橋かけ点が分子鎖の運動性に及ぼす影響が極めて大きく、 $T_g$ は $\rho_{(E)}$ に大きく依存することが分かった。

一方、硬化物の弾性率 $E$ はゴム領域( $T_g$ より高温側)では $\rho_{(E)}$ の高い硬化物が大きな値を示すが、ガラス領域( $T_g$ より低温側)では逆に $\rho_{(E)}$ の低い硬化物が大きな値を示した。また、熱膨張係数 $\alpha$ はゴム領域では $\rho_{(E)}$

の高い硬化物ほど小さな値を示したが、ガラス領域では $\rho_{(E)}$ の低い硬化物のほうが小さな値を示した。このような $\rho_{(E)}$ と $E$ 及び $\alpha$ の関係は硬化物の密度や自由体積が関係すると考えられるため、各硬化物の比容積(密度の逆数)の温度依存性を調べた。その結果、 $\rho_{(E)}$ の高い硬化物は硬化収縮率が大きいいためゴム領域の比容積は小さいが、硬化後の冷却過程では橋かけ点によって自由体積が比較的大きな状態で分子運動が凍結されるため、ガラス領域では $\rho_{(E)}$ が低い硬化物よりも比容積が大きいことが分かった。それゆえ、 $\rho_{(E)}$ の低い硬化物がガラス領域で大きな $E$ を示すのは硬化物の密度が高いためと推察された。一方、 $\rho_{(E)}$ の高い硬化物がゴム領域で小さな $\alpha$ を示すのは、橋かけ点が温度上昇によって起こる分子鎖の広がりを拘束するためである。しかし、ガラス領域で逆に $\rho_{(E)}$ の低い硬化物が小さな $\alpha$ を示すのは、この硬化物はガラス領域での自由体積が小さいためと推察される。

## 検査容易化構造をもつ 順序回路のテスト自動生成

日立製作所 林 照峯・畠山一実・他3名  
情報処理学会論文誌 28—4, 403~411 (昭62-4)

論理LSIの大規模化と品種数の増大に伴って、そのテストパターンをいかに効率よく作成するかが重要となってきた。このため、論理設計の段階から検査のしやすさを考慮する検査容易化設計の必要性が認識されるようになってきた。なかでも、すべてのFF(フリップフロップ)の状態を外部から直接的に書込み(スキャンイン)かつ読出し(スキャンアウト)できるような付加回路(スキャン回路)の設置を特徴とするスキャン設計方式は、順序回路に対するテストパターン生成の問題を組合せ回路に対するそれに置き換えて解くことを可能にするため、検査の容易化に有効である。

一方、スキャン設計方式をもう少し自由度を増して用いたいという要求がある。その一つは、論理回路のオーバーヘッドを減らすなどの目的で、通常動作のためのゲートとスキャン動作のためのゲートとを共用したいという要求である。このように設計された論理回路では、FFのスキャンイン、

スキャンアウトが規則的でなくなることがあり、FF又は外部ピンで挟まれた組合せ回路のテストパターンを自動的に生成できても、これを外部ピンイメージのパターンに変換するのが容易でなくなることがある。したがって、このような回路に対しては順序回路全体をテストパターン生成回路モデルとして扱う必要がある。

従来から、順序回路に対しては拡張Dアルゴリズムというテストパターン生成手法がよく用いられてきた。しかし、この手法は検査容易化のための付加回路を持つ順序回路に対しても、期待するほど高い故障検出率を得られないことがよくある。というのは、この手法はもとの回路と付加回路を区別しないで処理するため、付加回路の動作を必ずしもうまく利用しきれないことが多いからである。

本論文ではスキャンイン、スキャンアウト手順が規則的に表現できないような論理回路を対象に、スキャンパターンを含むテ

スト系列を自動的に生成できるテストパターン生成手法を提案している。本手法はスキャン手順に対応する4段階の手続きから成っており、これにより検査容易化のための付加回路を有効に利用したテストパターン生成を可能にしている。また、テストビリティメジャーの拡張により通常回路の動作とスキャン回路の動作の切分けを意識しながらテストパターンを生成できるようにしたこと、パルス信号線の事前認識によりパルス値に伴う矛盾発生を低減させたことなどによって、テストパターン生成能力の向上を図っている。

2~7kゲート規模の論理回路6ケースに対する性能評価実験の結果、平均で本手法は従来の9値拡張Dアルゴリズムの故障検出率87.8%を約10%上回る故障検出率98.3%のテスト系列を生成できた。

これにより、本手法が有効であることを実験的に確認できた。